Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, May-June 2024, p. 285-300

The Effect of Cultivation Systems on Stability Index and Organic Carbon of Aggregates in Soils with Long-Term Sugarcane Cultivation History

N. Mollaie[1], M. Sheklabadi[2]*, M. Nael[3]

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Authur Email: sheklabadi@basu.ac.ir)

Received:	21-02-2024	**How to cite this article:** Mollaie, N., Sheklabadi, M., & Nael, M. (2024). The effect of cultivation systems on stability index and organic carbon of aggregates in soils with long-term sugarcane cultivation history. *Journal of Water and Soil, 38*(2), 285-300. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86970.1390
Revised:	21-03-2024	
Accepted:	02-04-2024	
Available Online:	02-04-2024	

Introduction

Soil aggregate stability is a crucial indicator for evaluating soil structure, quality, and health. This index affects the physical and hydrological functions of the soil, which, in turn, depend on plant primary production and the capacity of organic carbon decomposition. Soil organic carbon plays a positive role in the formation and stability of soil aggregates. Soil organic carbon (SOC) causes a rapid decrease in water penetration into soil aggregates by creating a water-repellent coating around them and increases their stability against instant wetting stress. Land use and management, including cultivation systems and tillage methods, have an important impact on the stability and size distribution of soil aggregates. Mechanized sugarcane cultivation has a long history in Khuzestan province, particularly in Haft Tepe sugarcane cultivation and industry. Haft Tepe Agriculture is the first sugar production unit in Iran. Despite the increase in the use of chemical fertilizers, the yield of sugarcane crops has been decreasing due to the destruction of the physical properties of the soil. The study aimed to investigate the effects of different sugarcane cultivation systems on soil physicochemical-biological properties and soil stability indices in parts of Khuzestan province.

Materials and Methods

Soils were sampled from the surface of five farms in the Haft Tepe sugarcane cultivation complex located in the northwest of Khuzestan province. The farms included single-row, new planting cultivation (S-P); single-row, third ratoon cultivation (S-R3); double rows, new planting cultivation (D-P); double rows, first ratoon cultivation (D-R1); and uncultivated land (barren) that had been left unused for a long time. Soil organic carbon content, active carbon content, basal respiration, induced respiration, water-stable aggregates, and aggregate organic carbon fractions were measured in the sampled soil. Mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of soil aggregates were also calculated.

Results and Discussion

The study found that the organic C content was highest in the double-rows+new planting (D-P) method and lowest in uncultivated land (0.95% and 0.12%, respectively). The increase in plant density, biomass, and plant residue addition in D-P cultivation has led to an improvement in SOC content. The higher SOC content in cultivated lands compared to uncultivated land indicates the positive effect of many years of cultivation and irrigation. Among the different cultivations, double-row new planting (D-P) cultivation had significantly higher active carbon. In D-R1 cultivation, returning plant residues to the soil increased the SOC (0.59%) and active carbon

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86970.1390

content. The burning of sugarcane plant residues during harvesting and land preparation for new sugarcane cultivation in S-P fields appears to have led to a decrease in active carbon. Basal respiration and induced respiration values were significantly higher in single-row, third ratoon (S-R3) and double-row, new planting (D-P) cultivations, respectively. In S-R3 cultivation, the older plants and increased root biomass provided more rhizospheric organic C for microorganisms, resulting in higher microbial activity and respiration. Microorganisms transform and decompose soil organic matter, which is a source of energy for their metabolic processes. Therefore, there is a close relationship between organic matter and soil microorganisms. Lower basal respiration in newly planted lands may be due to the process of land preparation for cultivation. Additionally, single-row new-planted farms had a clayey texture, which could reduce soil respiration. In general, the recycling of organic matter and microbial activity is lower in fine-textured soils compared to coarse-textured soils. The highest MWD and GMD were found in single-row, third ratoon (S-R3) and single-row, new planting (D-P) cultivations. The uncultivated land had the lowest MWD and GMD, indicating unstable soil structure due to low SOC content. The lower MWD observed in S-P cultivation could be related to tillage and hilling up operations. S-R3 cultivation had more plant residues compared to other cultures. Higher plant ages and increased root biomass and rhizodeposits led to an increase in soil aggregate formation and stability. Soil tillage, which reduces soil organic carbon, can decrease the stability of soil aggregates and structure. The S-P and D-P cultivations had the highest value of coarse aggregates (larger than 2 mm) and fine aggregates (0.53-2 mm). The highest amount of medium aggregates were observed in S-P, D-P, and D-R1 cultivations. Agricultural operations can break large soil aggregates into smaller ones, while low SOC content and burning of sugarcane residues can reduce the formation of large aggregates. The study found statistically significant differences in the OC content of aggregates among the different cultivations. The highest content of aggregates OC was found in coarse aggregates (0.25-2.0 mm) of D-R1, D-P, and S-P cultivations.

Conclusion

This study investigates the impact of mechanized and long-term sugarcane cultivation on the physical and biological properties of soil. Overall, the water stable aggregates and MWD were found to be unsuitable in some of the studied fields due to the low amount of SOC. This is primarily caused by the annual burning of sugarcane residue. Therefore, returning plant residues after harvesting is suggested as a significant solution to improve problems related to compaction, soil instability, and their harmful consequences.

Keywords: Active C, Aggregates stability, Cultivation systems, Organic C, Sugarcane

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۳، ص. ۳۰۰-۲۸۵

پیامد نظام‌های کشت بر شاخص پایداری و کربن آلی خاکدانه‌ها در خاک‌های با سابقه بلندمدت کشت نیشکر

نرگس ملایی[۱]- محسن شکل آبادی[۲*]- محسن نائل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثرات سیستم‌های مختلف کشت نیشکر بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی-بیولوژیکی خاک و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در بخشی از اراضی استان خوزستان انجام گرفت. بدین منظور، اثرات روش کاشت نیشکر (یک ردیفه و دو ردیفه)، و سن گیاه (یکساله و چند ساله) بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و مقدار پایداری خاکدانه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) در مزارع نیشکر هفت تپه، که به‌مدت طولانی از ابتدای تأسیس مجتمع تحت کشت بوده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. در نمونه‌های خاک، مقادیر کربن آلی، کربن فعال، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)، درصد خاکدانه‌های پایدار و کربن خاکدانه‌ای اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، کشت دوردیفه باز-رویش و زمین کشت‌نشده به‌ترتیب حاوی بیشترین (۰/۹۵ درصد) و کمترین (۰/۲۱ درصد) میزان کربن آلی خاک بودند و میزان کربن آلی به‌طور معنی‌دار در کشت‌های دوردیفه نخستین باز-رویش و تازه‌کشت، بیشتر از سایر کشت‌ها بود. مقدار تنفس پایه در کشت یک‌ردیفه سومین باز-رویش و تنفس برانگیخته در کشت دو ردیفه تازه‌کشت، به شکل معنی‌داری بیشتر از سایر کشت‌ها به‌دست آمد. بیشترین مقدار MWD و GMD در کشت‌های یک‌ردیفه سومین باز-رویش و یک‌ردیفه تازه‌کشت، و کمترین مقدار آنها در زمین کشت‌نشده مشاهده شد. بیشترین درصد خاکدانه های درشت (بزرگتر از ۲ میلی‌متر) و خاکدانه‌های ریز (۲-۰/۵۳ میلی‌متر)، به‌ترتیب در کشت‌های یک ردیفه تازه‌کشت و دوردیفه تازه‌کشت مشاهد شد. بیشترین درصد خاکدانه‌های متوسط در کشت‌های یک ردیفه تازه‌کشت، دوردیفه تازه‌کشت و دو ردیفه اولین باز-رویش مشاهد شد. بر طبق نتایج، اختلاف معنی‌داری بین کشت‌های مورد مطالعه در خصوص کربن آلی درون خاکدانه‌ها مشاهده شد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان کربن آلی موجود در خاکدانه‌ها در خاکدانه‌های درشت (۲-۰/۲۵ میلی‌متر)، به‌ترتیب در کشت‌های دوردیفه دومین باز-رویش، دوردیفه تازه‌کشت و یک ردیفه تازه‌کشت مشاهد شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه‌ها، کربن آلی، کربن فعال، نوع کشت، نیشکر

مقدمه

در دهه‌های اخیر، عواملی مانند کاهش مقدار ماده‌ی آلی خاک، شور و قلیا شدن اراضی، افزایش میزان سدیم تبادلی و کاهش فعالیت موجودات خاکزی سبب کاهش کیفیت ساختمان خاک و پایداری آن و به تبع آن کاهش کیفیت خاک و عملکرد محصول زمین‌های کشاورزی شده است (Boix-Fayos *et al.*, 2001). مبنای یک ساختمان خوب برای رشد گیاه، پایداری خاکدانه‌های آن در آب است. پایداری خاکدانه های خاک به‌عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک درنظر گرفته می‌شود (Seybold & Herrick, 2001) و تعیین آن از این نظر که در ارتباط نزدیک با تخلخل، تغییرات دما و رطوبت و فرآیندهای فرسایش می‌باشد، برای رشد گیاه و تولید محصول حائز اهمیت است (Amézketa, 1999; Boix-Fayos *et al.*, 2001). خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هماوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و عوامل سیمانی و اتصال دهنده تشکیل می‌شوند (Bronick & Lal, 2005). پایداری خاکدانه یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده و اثرگذار بر پایداری خاک و تولید محصول

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sheklabadi@basu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86970.1390

است که برگستره وسیعی از فرآیندهای فیزیکی و بیوشیمیایی در محیطهای طبیعی و کشاورزی تأثیر می‌گذارد (Amézketa, 1999; Kristiansen et al., 2006). این شاخص روی عملکردهای فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک اثر می‌گذارد که بستگی به تولید اولیه و ظرفیت تجزیه کربن آلی دارد. به‌طور کلی با کمتر بودن خاکدانه‌های کوچک و بیشتر بودن خاکدانه‌های بزرگ، نفوذپذیری آب و فراهمی عناصرغذایی برای گیاه بیشتر می‌شود (Lee et al., 2023).

وانگ و همکاران (Wang et al., 2016) دو گروه ویژگی‌های درون‌زاد و برون‌زاد خاک را بر پایداری خاکدانه‌ها مهم دانسته‌اند. نوع کانی‌های رسی، مقدار کربنات کلسیم و کربن آلی خاک به‌عنوان عوامل درون‌زاد و مدیریت کشت، عملیات خاک‌ورزی و اقلیم به‌عنوان عوامل برون‌زاد، تأثیر شگرفی بر پایداری خاکدانه‌های خاک دارند. در مناطق نیمه‌خشک پایداری خاکدانه‌های خاک یکی از ویژگی‌های بسیار مهم خاک است که رشد گیاهان را کنترل می‌کند. در میان عوامل مختلفی که بر پایداری خاکدانه و بهبود ساختمان خاک‌های مناطق نیمه‌خشک تأثیرگذار است، مقدار ماده آلی خاک می‌باشد. مطالعات بسیاری بر ارتباط ماده آلی و خاکدانه‌ای شدن خاک صورت گرفته است (Six & Paustian, 2014; Wang et al., 2016; Zhao et al., 2017; Zheng et al., 2023). چنگ و همکاران (Cheng et al., 2015) دریافتند که مواد آلی خاک هم در پیدایش و هم در پایداری خاکدانه‌ها نقش مثبتی را ایفا می‌کنند، به‌نحوی‌که ماده آلی با ایجاد پوشش آب گریز پیرامون خاکدانه‌ها، سبب کاهش سریع نفوذ آب به درون خاکدانه ها و افزایش پایداری آن‌ها در برابر تنش خیسیدگی آنی خاکدانه‌ها می‌شود. فاتت و همکاران (Fattet et al., 2011) نیز نشان دادند که افزایش پوشش گیاهی و کربن آلی خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین کننده پایداری خاکدانه در خاک می‌باشد. کاتیون‌های چند ظرفیتی رابطه معنی‌داری با خاکدانه‌های کوچک، دارند، اما ماده آلی به عنوان فاکتور اصلی در تشکیل خاکدانه‌های درشت معرفی شد (Boix-Fayos et al., 2001; Mikha et al., 2024; Wang et al., 2016).

کاربری و مدیریت اراضی مانند روش‌های کشت و خاک‌ورزی نقش مهمی را در پایداری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها ایفا می‌کند (Bronick & Lal, 2005; Nath & Lal, 2017). روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی با دست‌کاری کمتر خاک و افزایش مواد آلی خاک، پایداری خاکدانه‌ها را بهبود می‌بخشند (Bronick & Lal, 2005; Mikha et al., 2024). برزگر و همکاران در پژوهش خود نشان دادند، تراکم خاک در زراعت نیشکر ممکن است در طی عملیات آماده‌سازی زمین، کاشت و به‌ویژه عملیات برداشت شدت گیرد، که نوع و شدت تأثیر روش خاک‌ورزی بر کیفیت فیزیکی خاک به نوع مدیریت، مدت زمان استفاده از یک نوع خاک‌ورزی و نوع خاک و شرایط منطقه بستگی دارد (Barzegar et al., 2000).

درک پویایی کربن در خاک برای بررسی آسیب‌پذیری مواد آلی خاک در مقابل دگرگونی کاربری اراضی ضروری است. کربن فعال یک‌شکل حد واسط از کربن آلی است که در میان‌کربن آلی تازه و کربن آلی هوموسی شده که از تجزیه ریشه گیاه، بقایا و دیگر ورودی‌های ماده آلی ساخته می‌شود، قرار دارد. این شکل از کربن، یک شناسه از مواد آلی خاک بوده و منبع کربن و انرژی قابل فراهم برای جامعه میکروبی است (Blair et al., 1995; Weil et al., 2003). کربن فعال سریع‌تر از کربن کل خاک به مدیریت واکنش نشان می‌دهد. کربن فعال یک شناسه از مواد آلی خاک بوده و منبع کربن و انرژی قابل فراهم برای جامعه میکروبی است (Weil et al., 2003).

کشت نیشکر به‌صورت مکانیزه در استان خوزستان در قالب کشت و صنعت‌های نیشکر، به‌ویژه در کشت و صنعت نیشکر هفت تپه تاریخچه‌ای طولانی دارد. کشت و صنعت هفت تپه اولین واحد تولید شکر از نیشکر در ایران می‌باشد. سطح کل اراضی آن بیش از ۲۴۵۰۰ هکتار می باشد که هر ساله حدود ۱۲۰۰۰ هکتار آن به کشت نیشکر اختصاص می‌یابد. تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک از مهم‌ترین مشکلات این مناطق می‌باشد و هر ساله با وجود افزایش مصرف کودهای شیمیایی، عملکرد زراعی نیشکر روند نزولی پیدا کرده است (Jafari et al., 2005). باتوجه به اینکه خاک این مناطق پایداری ساختمانی کمی دارند، بیش‌تر در معرض فرسایش، تخریب و بیابان‌زایی می‌باشند. با توجه به مقدمه گفته شده، این پژوهش تلاش نمود که به بررسی جامعی از اثرات روش‌های کشت دراز مدت نیشکر بر توزیع اندازه و پایداری خاکدانه و مقدار کربن آلی آنها در مجتمع هفت تپه استان خوزستان، بپردازد.

مواد و روش‌ها

تشریح منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری خاک از مزارع مجتمع کشت و صنعت نیشکر هفت تپه واقع در شمال غربی استان خوزستان با موقعیت ′۴ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ′۲۱ °۴۸ شرقی صورت گرفت. اراضی منطقه هفت تپه دارای ارتفاع بین ۴۳ تا ۸۲ متر از سطح دریا می‌باشند. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک با میانگین بارندگی ۲۶۵ میلی‌متر می‌باشد، که درجه حرارت سالیانه آن به‌طور متوسط ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. مزارع قدیمی که از سال‌های اولیه تأسیس مجتمع زیر کشت نیشکر رفته و سابقه کشت متراکم داشتند و براساس تاریخچه موجود در اسناد مجتمع، دارای سابقه ۵۰ سال کشت متراکم نیشکر بودند، انتخاب شد و نمونه‌برداری از عمق ۰–۳۰ سانتی‌متر از چهار مزرعه با دو روش کشت متداول یک‌ردیفه و دوریفه گیاه نیشکر و دارای گیاهان نیشکر چند ساله (باز–رویش یا راتون) و تازه‌کشت شده، در سه تکرار انجام گردید. جهت یکنواختی نمونه‌برداری در هر مزرعه نمونه‌های داخل جوی و روی پشته‌ها برداشت شده و با هم مخلوط گردید. از منطقه

مجاور مزارع نیز که تاکنون کشت نشده و برای مدت طولانی دارای پوشش مرتعی بودند نیز به‌عنوان منطقه شاهد دست نخورده نمونه برداری انجام گرفت. بنابراین تیمارهای آزمایشی شامل مزرعه یک ردیفه تازه‌کشت (S-P)؛ یک ردیفه سومین باز-رویش (راتون[۱]) (S-R3)؛ دو ردیفه تازه‌کشت (D-P)؛ دو ردیفه اولین باز-رویش (D-R1) و زمین کشت‌نشده (بایر) انتخاب شدند. در روش کاشت دو ردیفه پس از سوزاندن برگ‌ها، نیشکر به‌صورت کاملا مکانیزه برداشت می‌گردد. بنابراین تردد وسایل نقلیه سنگین در مزرعه حداکثر است. در روش تک‌ردیفه بریدن نیشکر سوخته، دستی و به‌وسیله انسان بوده و بارگیری توسط گراب لودر و نیمه مکانیزه است. با توجه به چند ساله بودن گیاه نیشکر، زمین مزارع تنها در زمان کشت‌تازه شخم زده می‌شود و در سال های بعدی عملیات خاک‌ورزی خاصی انجام نمی‌شود و از پایه نی قبلی باز-رویش انجام می‌شود.

جداسازی خاکدانه‌های پایدار در آب و اندازه‌گیری پایداری خاکدانه

برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها و جداسازی آن‌ها از روش الک تر بهره‌گیری شد (Kemper & Rosenau, 1986). ابتدا نمونه‌های هوا خشک از الک ۴ میلی‌متری عبور داده و سپس ۵۰ گرم از نمونه خاک‌ها وزن و به آرامی در حدود گنجایش ظرفیت مزرعه مرطوب شدند (تا از حبس هوا در خاکدانه‌ها و متلاشی شدن آن‌ها در موقع ورود یکباره در آب جلوگیری شود) و در سری الک‌ها (از بالا به پایین ۲، ۰/۲۵ و۰/۰۵۳) گذاشته شد. الک کردن با کورس ۳ سانتی‌متر و تندی ۳۰ دور در دقیقه برای مدت زمان ۵ دقیقه درون سطل پر از آب با حرکت رفت و برگشتی انجام شد. خاک‌دانه‌ها باقی‌مانده روی هر سری الک جداگانه گردآوری و برای جلوگیری از سوختن ماده آلی در آون در دمای ۶۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد برای ۲ تا ۳ روز خشک شدند. ذرات خاک عبور کرده از الک ۰/۰۵۳ نیز جمع‌آوری شدند. اصلاح مقدار شن و رطوبتی روی نمونه‌ها انجام شد. با بهره‌گیری از روابط زیر، درصد خاکدانه‌های پایدار روی هر الک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) تعیین شد.

$$\%AS = {(w_i - w_s)}\Big/{(w_t - w_{st})} \quad (۱)$$

%AS = درصد خاک‌دانه‌های پایدار با قطر معین

Wi = وزن خاک مانده روی هر الک پس از آزمایش

Ws = وزن دانه‌های شن و سنگ‌ریزه روی هر الک

Wst = وزن همه دانه‌های شن و سنگریزه خاک

Wt = وزن کل نمونه خاک آون خشک برای هر آزمایش

$$MWD_{wet} = \sum_{i=1}^{n} \overline{Xi}\, Wi. \quad (۲)$$

که در این رابطه: $\overline{Xi}$ میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک، Wi نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌های خاک و n تعداد الک می‌باشد. نسبت وزن خاکدانه‌ها (Wi) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$Wi = \frac{Wi(a+s) - Wi(s)}{\sum_{i=1}^{n} Wi(a+s) - \sum_{i=1}^{n} Wi(s)} \quad (۳)$$

که در آن: Wi(a+s) وزن توده خاک باقی‌مانده پس از آزمایش روی هر الک (خاکدانه باقی مانده + شن) و Wi(s) وزن شن روی هر الک پس از آزمایش (گرم) است.

همچنین پایداری خاکدانه براساس میانگین هندسی قطر (GMD) از رابطه هندسی ۴ به‌دست آمد:

$$GMD = \exp\left\{\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \log X_i}{\sum_{i=1}^{n} W_I}\right\} \quad (۴)$$

که در آن: Wi وزن توده خاک باقی‌مانده پس از آزمایش روی هر الک و log Xi لگاریتم میانگین قطر اندازه خاک‌دانه‌ها است.

برای اندازه‌گیری کربن فعال ابتدا ۲/۵ گرم خاک هوا خشکِ آسیاب شده و عبور کرده از الک ۰/۵ میلی‌متر در لوله آزمایش ۵۰ میلی‌لیتر ریخته، سپس ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ مولار پرمنگنات پتاسیم به نمونه‌ها افزوده و پس از ۲ دقیقه شیک و ۱۰ دقیقه سانتریفوژ (۳۰۰۰ دور در دقیقه) عصاره‌ها جمع‌آوری شد. پس از رقیق کردن عصاره‌ها، مقدار کربن فعال با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد (Weil *et al.*, 2003). مقدار کربن فعال بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شد. همچنین کربن آلی خاک و خاکدانه‌ها به روش اکسیداسیون تر والکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شدند. تنفس پایه خاک به روش اندرسون (Anderson, 1982) و تنفس برانگیخته با روش آلف و نانی پیری (Alef & Nannipieri, 1995) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج، داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و همبستگی ساده پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از EXCEL انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. کربن آلی خاک‌ها در محدوده ۰/۲۱ در زمین بایر تا ۰/۵۹ درصد در کشت D-R1 متغیر بود. مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده در خاک‌های تحت کشت در محدوده مقدار کربن آلی گزارش شده توسط محققین دیگر (Azadi *et al.*, 2021; Jafari *et al.*, 2016; Moradi *et al.*, 2015) برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استان خوزستان نزدیک است. خاک‌های مورد مطالعه، به استثنای زمین کشت‌نشده، غیر شور بودند. پ-هاش خاک‌های مورد

1- Ratoon

مطالعه قلیایی بوده و کمبود پتاسیم قابل دسترس در همه خاک‌ها قابل رویت بود. نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. اثر کشت‌های مورد مطالعه بر همه ویژگی‌های مورد مطالعه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است که به تفضیل تغییرات میانگین هر خصوصیت توضیح داده خواهد شد. جدول ۳ نیز هم‌بستگی ویژگی‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

کربن آلی خاک (SOC)

مقدار کربن آلی در بین کشت‌های مختلف، تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۱ را نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱- الف) نشان داد، زمین کشت‌نشده کمترین مقدار کربن آلی را در میان کشت‌ها داشته است. کربن آلی در زمین‌های زیر کشت نیشکر در کشت‌های دوردیفه نخستین باز-رویش (D-R1) و تازه‌کشت (D-P) بیشترین مقدار را دارا بودند (شکل ۱- الف). افزایش بقایای گیاهی در این کشت سبب بهبود مقدار ماده آلی خاک شده است. این کشت‌ها با توجه به تراکم بالاتر گیاه در کشت دوردیفه، مقدار زیست‌توده گیاهی و تولید کاه و کلش بیشتری نسبت به دیگر کشت‌ها داشتند. مقدار کم کربن آلی در زمین‌های کشت‌نشده در برابر زمین‌های زیر کشت بیانگر افزایش کربن آلی خاک در طی سالیان متمادی کشت و کار به همراه آبیاری می‌باشد.

آزادی و همکاران (Azadi *et al.*, 2021) در بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و ترسیب کربن در مراحل مختلف رشد نیشکر در جنوب استان خوزستان، دریافتند که مدیریت کشت نیشکر باعث تغییر ویژگی‌های خاک و افزایش ذخیره کربن آلی خاک شده است.

جدول ۱- برخی ازویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه
Table 1- Some of the physico-chemical characteristics of the studied soils

نوع کشت Cultivation	کربن آلی SOC (٪)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	pH	نیتروژن کل TN(٪)	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	توزیع اندازه ذرات Particle Size Distribution (%)			
							شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil Texture
S-P	0.56	0.21	8.01	0.049	78.7	15.2	5.3	40.7	54.0	Silty clay
S-R3	0.47	0.15	8.07	0.056	78.8	13.2	5.5	40.0	54.6	Clay
D-P	0.56	0.18	8.14	0.057	73.5	0.7	51.6	27.8	20.6	Sandy clay loam
D-R1	0.59	0.23	8.00	0.056	76.5	30.6	12.2	42.0	45.8	Silty clay
زمین کشت نشده Uncultivated	0.21	5.66	8.41	0.007	105.4	7.3	55.6	19.8	24.6	Sandy clay loam

S-P: یک‌ردیفه، تازه‌کشت؛ S-R3: یک ردیفه، سومین باز-رویش؛ P-D: دو ردیفه تازه‌کشت؛ D-R1: دو ردیفه اولین باز-رویش؛ uncultivated: زمین کشت‌نشده (بایر)؛
S-P: one row, newly planted; S-R3: one row, the third ratoon; D-P: two rows, newly planted; D-R1: two rows, the first ratoon

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف کشت و سن گیاه بر کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در اراضی با ۵۰ سال سابقه کشت نیشکر
Table 2- Analysis of variance of the effect of different cultivation managements and plant age on organic carbon, MWD and GMD in lands with 50 years of sugarcane cultivation history

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Squars					
		کربن آلی SOC	کربن فعال Active C	تنفس پایه Basal Respiration	تنفس برانگیخته Induced Respiration	MWD	GMD
Block بلوک	2	0.0008 ns	21221.004 ns	0.0017*	0.1649*	0.2519 ns	0.0091 ns
Cultivation نوع کشت	4	0.0757**	468347.336**	0.024**	1.769**	0.8273**	0.0471**
Error خطا	8	0.0021	36190.161	0.0010	0.102	0.0696	0.0043
CV		9.6	27.67	21.02	17.74	18.53	6.64

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد
ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

جدول ۳- همبستگی ساده پیرسون بین ویژگی‌های اندازه گیری شده

Table 3- Pearson’s simple correlation between measured soil characteristics

	SOC	**MWD**	**GMD**	**WSA 2**	**WSA 0.25**	**WSA 0.05**	**WSA-OC 0.05**	**WSA-OC 0.25**	**IR**	**BR**	**Active C**
MWD	0.63*										
GMD	0.26^{ns}	0.60*									
WSA 2	-0.71**	-0.24^{ns}	0.04^{ns}								
WSA 0.25	0.76**	0.34^{ns}	0.04^{ns}	-0.77**							
WSA 0.05	0.50^{ns}	0.23^{ns}	-0.25^{ns}	-0.55*	0.15^{ns}						
WSA-OC 0.05	0.85**	0.48^{ns}	0.08^{ns}	-0.68**	0.71**	0.41^{ns}					
WSA-OC 0.25	0.63*	0.22^{ns}	-0.32^{ns}	-0.74**	0.49^{ns}	0.72**	0.77**				
IR	0.66**	0.27^{ns}	0.11^{ns}	-0.63*	0.58*	0.32^{ns}	0.66**	0.42^{ns}			
BR	0.48^{ns}	0.65**	0.51^{ns}	-0.01^{ns}	0.37^{ns}	-0.29^{ns}	0.46^{ns}	-0.09^{ns}	0.42^{ns}		
Active C	0.60*	0.67**	0.45^{ns}	-0.18^{ns}	0.45^{ns}	-0.08^{ns}	0.53*	0.09^{ns}	0.25^{ns}	0.76**	
Sand	-0.54*	-0.80**	-0.60*	0.16^{ns}	-0.34^{ns}	0.01^{ns}	-0.48^{ns}	-0.20^{ns}	0.05^{ns}	-0.59*	-0.63*
Silt	0.73**	0.81**	0.52*	-0.36^{ns}	0.52*	0.13^{ns}	0.67**	0.37^{ns}	0.17^{ns}	0.64**	0.73**
Clay	0.16^{ns}	0.61*	0.56*	0.15^{ns}	0.03^{ns}	-0.20^{ns}	0.13^{ns}	-0.04^{ns}	-0.42^{ns}	0.37^{ns}	0.40^{ns}

SOC: کربن آلی خاک؛ MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها؛ GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها؛ WSA2: خاکدانه‌های پایدار در آب بین ۴ تا ۲ میلی‌متر؛ WSA0.25: خاکدانه‌های پایدار در آب بین ۲ تا ۰٫۲۵ میلی‌متر؛ WSA 0.05: خاکدانه‌های پایدار در آب بین ۰٫۲۵ تا ۰٫۰۵۳ میلی‌متر؛ WSA-OC 0.05: کربن آلی خاکدانه های پایدار در آب بین ۰٫۲۵ تا ۰٫۰۵۳ میلی‌متر؛ WSA-OC 0.25: کربن آلی خاکدانه‌های پایدار در آب بین ۲ تا ۰٫۲۵ میلی‌متر؛ IR: تنفس برانگیخته؛ BR: تنفس پایه، Active C: کربن فعال، Sand: شن، Silt: سیلت و Clay: رس. ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد

SOC: Soil organic carbon; MWD: Mean weight diameter of soil aggregates; GMD: geometric mean diameter of soil aggregates; WSA 2: water stable aggregates, 4-2 mm; WSA 0.25: water stable aggregates, 2-0.25 mm; WSA 0.05: water stable aggregates, 0.25-0.053 mm; WSA-OC 0.05: organic carbon of water stable aggregates, 0.25-0.053 mm; WSA-OC 0.25: organic carbon of WSA 2: water stable aggregates, 2-0.25 mm; IR: Induced respiration; BR: Basal respiration and Active C: Active carbon.
^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2016) نیز با مقایسه زمین‌های کشت‌نشده و کشت نیشکر در منطقه کشت و صنعت کارون استان خوزستان، مشاهده کردند که کشت نیشکر به‌صورت چشمگیری باعث افزایش کربن آلی خاک شده است. مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2015) عنوان کردند پس از تبدیل کاربری زمین‌های کشت نشده به زمین‌های زیر کشت نیشکر در نیشکر هفت‌تپه استان خوزستان، دگرگونی شدیدی در مقدار ماده آلی حاصل شده و ماده آلی خاک‌ها به صورت معنی‌داری افزایش یافت.

کشت‌های دوردیفه باعث افزایش کربن آلی نسبت به کشت یک ردیفه شده است، به‌نحوی‌که کشت دوردیفه نخستین باز-رویش با ۰/۵۹ درصد بیشترین کربن آلی را داشت. کشت‌های دوردیفه به علت نگهداری باقیمانده‌های گیاهی روی سطح خاک دارای پوشش گیاهی و لاشبرگ بیشتری نسبت به کشت یک‌ردیفه بودند و به همین دلیل مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به دیگر کشت‌ها داشتند؛ و همچنین با توجه به اینکه این سیستم نیاز به عملیات به روی پشته بردن[1] دارد و این عملیات با هوادهی خاک، باعث آزاد شدن کربن آلی از توده‌های خاک و تجزیه سریعتر ماده آلی خاک می‌شود (Bakker, 1999). افزون بر آن، نی‌های باز-رویش با رشد سریع‌تر از نی‌های تازه‌کشت، قادرند سطح زمین را بپوشانند. محققین نشان دادند که پوشش گیاهی از طریق توزیع مواد آلی از راه لاشبرگ و برگشت ریشه گیاهان و ترشحات ریشه باعث افزایش کربن آلی در خاک می‌شوند (Fattet *et al.*, 2011). به هم خوردن خاک باعث تجزیه بیشتر و سریع‌تر بقایای گیاهی شده و کربن و نیتروژن موجود در ماده آلی خاک زودتر معدنی شده و درنتیجه ماده آلی سریع‌تر از دست می‌رود. عملیات‌هایی نظیر هرس‌زنی و خاک‌دهی پای بوته، تجزیه ریشه‌های کلشی را آسان می‌کند، به‌نحوی که تجزیه ریشه‌های کلشی ممکن است به‌صورت موقت ماده آلی خاک را افزایش دهد (Gul & Whalen, 2022). ترشحات گیاهی در گام های گوناگون رشد گیاه و حضور ریشه گیاه در عمق سطحی خاک می‌تواند دگرگونی چشم‌گیری در کربن آلی خاک ایجاد نماید (Gul & Whalen, 2022). همچنین ساقه‌های نسوخته، مانده‌های کلش نسوخته و ریشه‌ها می‌تواند منبع مهمی از مواد آلی افزوده‌شده به خاک

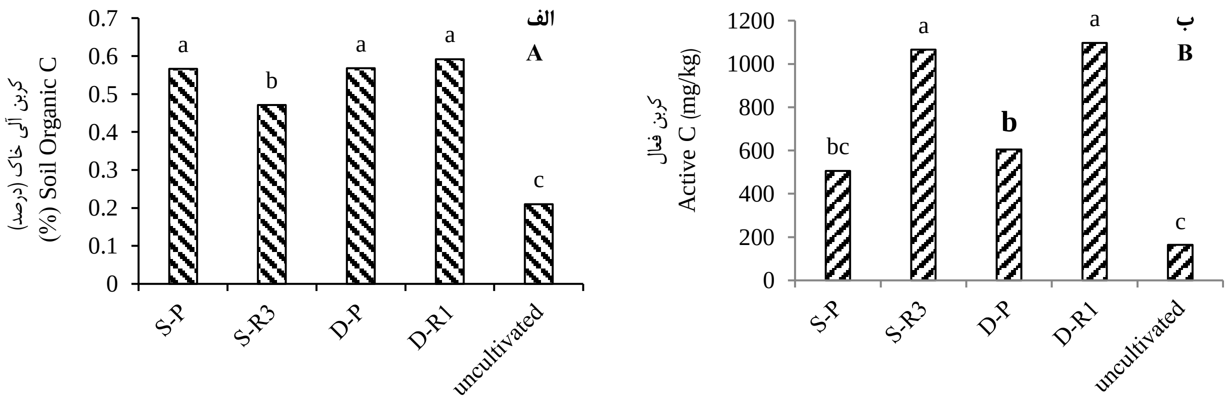
1- Hilling up

باشد. در مزارع نیشکر علی‌رغم سوزاندن بقایای گیاهی و خروج ساقه‌های قابل آسیاب از خاک، ریشه‌ها و طوقه‌ها هر ساله به خاک اضافه می‌شوند. این منبع ماده آلی که حدود ۴۰٪ وزن ساقه‌های قابل آسیاب می‌باشند، سالانه حجم عظیمی از ماده آلی به خاک اضافه می‌کند (Jafari *et al.*, 2005). پژوهش‌ها نشان از کاهش ماده آلی خاک پس از آتش‌سوزی دارند که می‌تواند وابسته به سوختن پوشش گیاهی و کم شدن ورودی سالانه ماده آلی در اراضی سوخته شده باشد (Luca *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد سوزاندن مانده‌هایی گیاهی نیشکر در زمان برداشت نیشکر و آماده‌سازی زمین برای کشت تازه نیشکر در کشت‌های S-P و D-P سبب کاهش ماده آلی خاک در این کشت‌ها بوده و این امر باعث کاهش کربن آلی کل و به تبع آن کاهش کربن فعال در خاک شده است. بررسی همبستگی کربن آلی خاک با دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (جدول ۳) نیز نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار کربن آلی خاک بر سایر ویژگی‌ها از جمله کربن فعال و پایداری خاکدانه‌ها است.

در پژوهش حاضر بافت خاک در برخی خاک‌ها متفاوت بوده و در زمین کشت‌نشده و کشت دوردیفه تازه‌کشت (D-P) مقدار رس خاک بسیار کمتر از خاک‌های دیگر بود (جدول ۱). همچنین بررسی همبستگی بین ویژگی‌های خاک (جدول ۳) نیز نشان داد که رابطه معنی‌داری بین کربن آلی و مقدار رس خاک وجود ندارد اما رابطه مثبت و معنی‌داری با مقدار سیلت خاک مشاهده گردید. محققین نشان داده‌اند که ظرفیت خاک برای نگهداری کربن آلی خاک به بافت خاک وابسته بوده و خاک‌های با بافت سبک‌تر ظرفیت کمتری برای ذخیره کربن آلی و همچنین زمان بازگشت کربن آلی سریعتری نسبت به خاک‌های با بافت سنگین‌تر دارند (Lee *et al.*, 2023). بنابراین انتظار می‌رود که حداقل بخشی از کمبود کربن آلی خاک در زمین کشت‌نشده به‌دلیل بافت سبک‌تر خاک و در نتیجه ظرفیت کمتر آن برای نگهداشت کربن آلی باشد. اما در کشت دوردیفه تازه‌کشت (D-P) علی‌رغم بافت سبک‌تر خاک مقدار کربن آلی خاک با دیگر خاک‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد (شکل ۱-الف). محققین معتقدند که در مناطق خشک به‌دلیل کمبود بازگشت بقایای گیاهی و دمای بالا کربن آلی خاک بیشتر و سریعتر از دیگر ویژگی‌ها تحت تأثیر مدیریت خاک قرار داشته و هر گونه تغییر در مدیریت کشت وکار می‌تواند تأثیر چشم‌گیری بر مقدار کربن آلی خاک داشته باشد (Azadi *et al.*, 2021). بنابراین با تغییر مقدار ورودی کربن آلی خاک در کشت دوردیفه تازه‌کشت (D-P) مقدار کربن آلی خاک افزایش یافته است.

کربن فعال

کربن فعال که شامل تمام ترکیبات آلی قابل اکسیده شدن از جمله مواد هیومیک و پلی ساکاریدها می‌باشند، ۵ تا ۳۰ درصد از کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد. مقدار کربن فعال در میان کشت‌ها، تفاوت آماری معنی‌داری داشتند ($P<0.001$) (جدول ۲)، و کربن فعال در کشت دوردیفه نخستین باز-رویش (D-R1) و یک‌ردیفه سومین باز-رویش (S-R3) به‌صورت معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود (شکل ۱-ب). بیشتر بودن این شناسه در این کشت بیانگر وجود بقایای گیاهی بیشتر و تجزیه کمتر و انتشار CO_2 کمتر به اتمسفر می‌باشد (Alvaro-Fuentes *et al.*, 2008; Salinas-Garcıa *et al.*, 2002).



شکل ۱- اثر مدیریت‌های مختلف کشت نیشکر در اراضی با سابقه کشت طولانی بر الف) کربن آلی و ب) کربن فعال خاک

S-P: یک‌ردیفه، تازه‌کشت؛ S-R3: یک ردیفه، سومین باز-رویش؛ D-P: دوردیفه تازه‌کشت؛ D-R1: دو ردیفه اولین باز-رویش؛ uncultivated: زمین کشت‌نشده (بایر)؛

میانگین‌هایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 1- The effect of different managements of sugarcane cultivation in lands with a long history of cultivation on A) organic carbon and b) soil active carbon

S-P: one row, newly planted; S-R3: one row, the third ratoon; D-P: two rows, newly planted; D-R1: two rows, the first ratoon;
Means that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test.

بلر و همکاران (Blair *et al.*, 1995) گزارش کردند که نسوزاندن بقایای نیشکر هیچ دگرگونی معنی‌داری در کربن آلی کل در افق ۷/۵-۰ سانتی‌متری ایجاد نمی‌کند، درحالی‌که مدیریت زراعی مختلف می تواند کربن فعال خاک را به شکل چشم‌گیری تغییر دهد. ویل و همکاران (Weil *et al.*, 2003) نیز نشان دادند کربن فعال نسبت به کربن کل به عملیات مدیریتی حساسیت بیشتری دارد. در کشت‌های دوردیفه نخستین باز-رویش (D-R1) مانده‌های گیاهی به خاک باز می‌گردد بنابراین مقدار مواد آلی در این نوع کشت زیادتر بوده (کربن کل ۰/۵۹ درصد) و مقدار کربن فعال نیز بیشتر است. در کشت S-R3 به علت بیشتر بودن سن گیاه، زی‌توده ریشه و به دنبال آن ترشحات ریشه قابل توجه است و بقایای حاصل از این نوع کشت نیز حجم بالایی دارند بنابراین ترکیبات آلی پویا و ناپایدار آنها زیاد و در نتیجه مقدار کربن فعال در این کشت نیز زیاد است. به‌طور کلی مقدار کربن فعال در مناطق با اندوخته کربن آلی بالا، بیشتر است (Blair *et al.*, 1995; Weil *et al.*, 2003). در این پژوهش نیز کربن آلی خاک و کربن فعال همبستگی نسبتا خوب و معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داشتند (جدول ۳). بنابراین کربن فعال می‌تواند شناسه بهتری نسبت به کربن آلی خاک کشتزارها باشد.

تنفس پایه

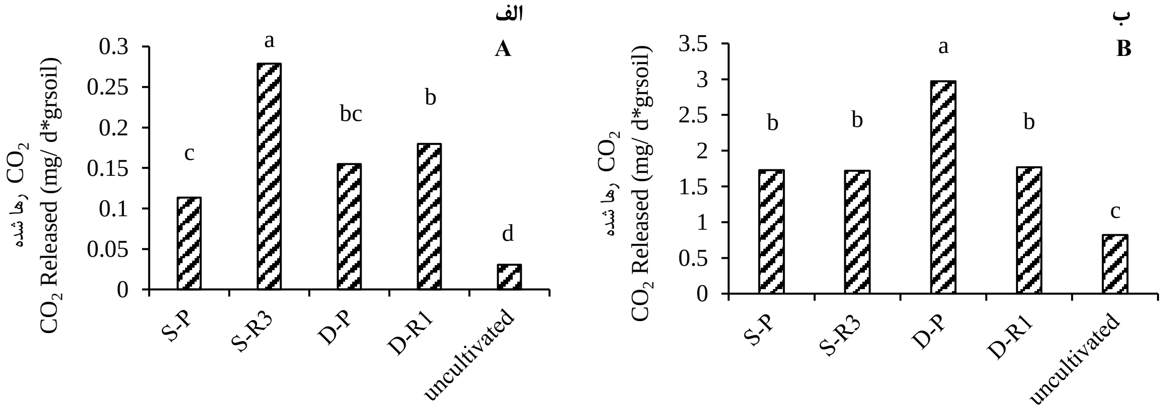
اثر نوع کشت بر تنفس پایه در سطح احتمال آماری ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقدار میانگین تنفس پایه در کشت یک‌ردیفه سومین باز-رویش (S-R3) به گونه معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود (شکل ۲-ب). مقدار تنفس پایه در زمین کشت‌نشده کمتر از دیگر کشت‌ها بود. این خاک دارای مقدار لاشبرگ و ماده آلی (۰/۲۱ درصد) کمتری نیز بود (شکل ۱-الف).

مقدار بقایایی گیاهی و کربن آلی (۰/۵۶ درصد) در کشت S-R3 زیاد است. یک بخش مهم از تنفس خاک به تجزیه بقایای گیاهی نسبت داده می‌شود، بنابراین تنفس پایه خاک با برداشت بقایا، کاهش و با افزایش بقایای گیاهی افزایش می‌یابد (Gul & Whalen, 2022). در کشت S-R3 به علت بیشتر بودن سن گیاه، زی‌توده ریشه و فراهمی کربن پویا برای ریشه و میکروب‌ها افزایش می‌یابد، که در نتیجه آن، فعالیت میکروبی زیادی دارند. مواد آلی خاک تحت تأثیر ریز جانداران دگرگون‌شده و تجزیه می‌شود. میان مواد آلی و ریز جانداران خاک وابستگی نزدیکی وجود دارد، زیرا مواد آلی خاک یک انباره انرژی برای فرآیندهای سوخت‌وساز ریز جانداران می‌باشد. ریز جانداران با اکسیداسیون کربن آلی از آن انرژی می‌گیرند. فرآورده پایانی تجزیه ماده آلی، دی‌اکسید کربن و آب است. هنگامی‌که ماده آلی خاک تجزیه می‌شود، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، فراهم‌تر می‌شوند (Gul & Whalen, 2022; Lee *et al.*, 2023). رهاسازی دی‌اکسید کربن از خاک، نشان از تجزیه بالای مواد آلی در خاک دارد. تنفس پایه کم در زمین‌های تازه کشت ممکن است به علت عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت باشد. کشت یک‌ردیفه تازه‌کشت دارای بافت رسی و سنگین می‌باشد ممکن است علت کاهش تنفس پایه در این کشت باشد. همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین تنفس پایه و میانگین قطر خاکدانه‌ها دیده می‌شود (جدول ۳) که می‌تواند به‌دلیل تهویه بهتر در خاک‌های با خاکدانه‌های درشت‌تر باشد. به‌طور کلی مشخص‌شده که بازچرخش مواد آلی و فعالیت میکروبی در خاک‌های با بافت ریز کمتر از خاک‌های با بافت درشت است (Lee *et al.*, 2023).

هر چند گزارش شده است که جمعیت و فعالیت میکروبی در خاک‌های شخم نخورده نسبت به خاک‌های زیر کشت، بیش‌تر است (Gul & Whalen, 2022) ولی کمترین مقدار تنفس پایه در زمین‌های کشت‌نشده مشاهده شد. مقدار پوشش گیاهی، رطوبت و ماده آلی کمتر (۰/۲۱ درصد) در این خاک بر فعالیت ریزجانداران نقش مؤثری داشته و با افزایش کشت و کار و به دنبال آن افزایش پوشش و بقایای گیاهی در اثر کشت آبی و افزایش کربن آلی خاک مقدار فعالیت میکروبی در دیگر خاک‌ها افزایش یافته است (Gul & Whalen, 2022; Zheng *et al.*, 2023).

تنفس برانگیخته با بستره

تنفس برانگیخته در میان انواع کشت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۰/۰۱ داشت (جدول ۲). این شناسه در کشت D-P به گونه معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود (شکل ۲-ب). تفاوت معنی داری بین کشت‌های یک‌ردیفه تازه‌کشت (S-P)، یک‌ردیفه سومین باز-رویش (S-R3) و دوردیفه نخستین باز-رویش (D-R1) مشاهده نشد. مقدار تنفس برانگیخته در خاک دست‌نخورده به گونه معنی‌داری کمتر از دیگر کشت‌ها بود (شکل ۲-ب)؛ در زمین کشت‌نشده (بایر) مقدار لاشبرگ و ماده آلی کمترین مقدار (۰/۲۱ درصد) بود در حالی‌که بیشترین مقدار تنفس برانگیخته مربوط به کشت دوردیفه با ریشه‌های متراکم و تراکم گیاهی بیشتر بود. تنفس برانگیخته با بستره، را می‌توان شناسه‌ای بسیار شایسته از زی‌توده ریزجانداران در خاک معرفی کرد. این ویژگی یکی از شناسه‌های پایه برای برآورد کمّی زی‌توده میکروبی خاک به‌عنوان بخش بسیار فعال و ناپایدار کربن آلی خاک است. همبستگی معنی‌دار تنفس برانگیخته با کربن آلی خاک و خاکدانه‌ها (جدول ۳) نیز مؤید ارتباط زی‌توده میکروبی خاک و کربن آلی خاک است. توانایی خاک برای تولید CO_2 (تنفس) از بستره‌های متنوع ممکن است نشانگر یک جامعه میکروبی فعال و پویا باشد (Sawada *et al.*, 2017). محققین، فراوانی جمعیت میکروبی بیشتری را در خاک‌های دارای سیستم ریشه‌ای متراکم‌تر نسبت به خاک‌های فاقد گیاه و سیستم ریشه‌ای گزارش کرده‌اند (Gul & Whalen, 2022).



شکل ۲- اثر مدیریت‌های مختلف کشت نیشکر در اراضی با سابقه کشت طولانی بر الف) تنفس پایه و ب) تنفس برانگیخته

S-P: یک‌ردیفه، تازه کشت؛ S-R3: یک ردیفه، سومین باز-رویش؛ D-P: دو ردیفه تازه کشت؛ D-R1: دو ردیفه اولین باز-رویش؛ uncultivated: زمین بایر؛ میانگین‌هایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 2- The effect of different managements of sugarcane cultivation in lands with a long history of cultivation on A) Basal respiration and B) Induced respiration

S-P: one row, newly planted; S-R3: one row, the third ratoon; D-P: two rows, newly planted; D-R1: two rows, the first ratoon; Means that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test.

هر گونه اندوخته و معدنی‌شدن کربن ملزم به فعالیت‌های میکربی و انتشار کربن به‌صورت تنفس خاک می‌باشد. کشت S-R3 باوجود اینکه مقدار تنفس پایه بالای داشت (شکل ۲-الف)، مقدار تنفس برانگیخته کمتری داشت در حالی‌که در کشت D-P، مقدار تنفس برانگیخته بیشتر و مقدار تنفس پایه کمتر بود (شکل ۲). تفاوت مشاهده شده در این خاک‌ها می‌تواند به‌دلیل تنوع در نوع بستره یا کربن آلی خاک، دشواری دسترسی به کربن آلی، تنوع جوامع میکروبی و استراتژی آنها باشد (Ali *et al*., 2018; Gul & Whalen, 2022).

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در میان زمین‌های با سابقه کشت طولانی مدت در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۲). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها درکشت‌های یک ردیفه سومین باز-رویش (S-R3)، یک ردیفه تازه‌کشت (S-P) و دوردیفه نخستین باز-رویش (D-R1) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود (شکل ۳). زمین کشت‌نشده کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را داشت. کم بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بیانگر ناپایداری ساختمان خاک و از پیامدهای خاک‌ورزی‌های پیاپی و محتوای پایین ماده آلی خاک‌ها است. افزایش عملیات خاک‌ورزی با کاهش کربن آلی خاک، سبب کاهش پایداری خاکدانه‌ها شده و پایداری ساختمان خاک را کاهش می‌دهد (Zheng *et al*., 2023). در این مطالعه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک نداشت، اما با کربن فعال همبستگی خوب و معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). کشت S-P به علت خاک‌ورزی عملیات کشت نیشکر، روی پشته بردن و خاک کشت‌نشده به‌دلیل کم بودن ماده آلی میانگین وزنی قطر خاکدانه کمی داشتند. کشت S-R3 دارای لاشبرگ و زی‌توده گیاهی زیادی نسبت به دیگر کشت‌ها بود. همچنین به‌دلیل زیادتر بودن سن گیاه در این کشت، نشر مواد ریشه‌ای و میکروبی افزایش می‌یابد که این مواد سبب افزایش خاکدانه‌سازی می‌شوند (Gul & Whalen, 2022). محققین معتقدند که کمبود و یا کاهش ماده آلی، سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها، تخریب آن‌ها و در نتیجه، حساسیت خاک به فرسایش می‌شود (Boix-Fayos *et al*., 2001). همچنین محققین نشان دادند که با افزایش مواد آلی در خاک، پایداری خاکدانه‌ها و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (Halder *et al*., 2023; Ghorbani *et al*., 2013; Jafari *et al*., 2016). براساس طبقه‌بندی ارائه شده به‌وسیله محققین برای شاخص MWD، خاک بایر با مقدار MWD کمتر از ۰/۴ میلی‌متر در دسته خاک‌های بسیار ناپایدار و دارای سله سطحی و بقیه خاک‌ها با MWD کمتر از ۰/۸ میلی‌متر در دسته ناپایدار قرار می‌گیرند (Le Bissonnais, 1996). بر این اساس هیچکدام از خاک‌های مورد بررسی در دسته با ساختمان پایدار قرار نمی‌گیرند.

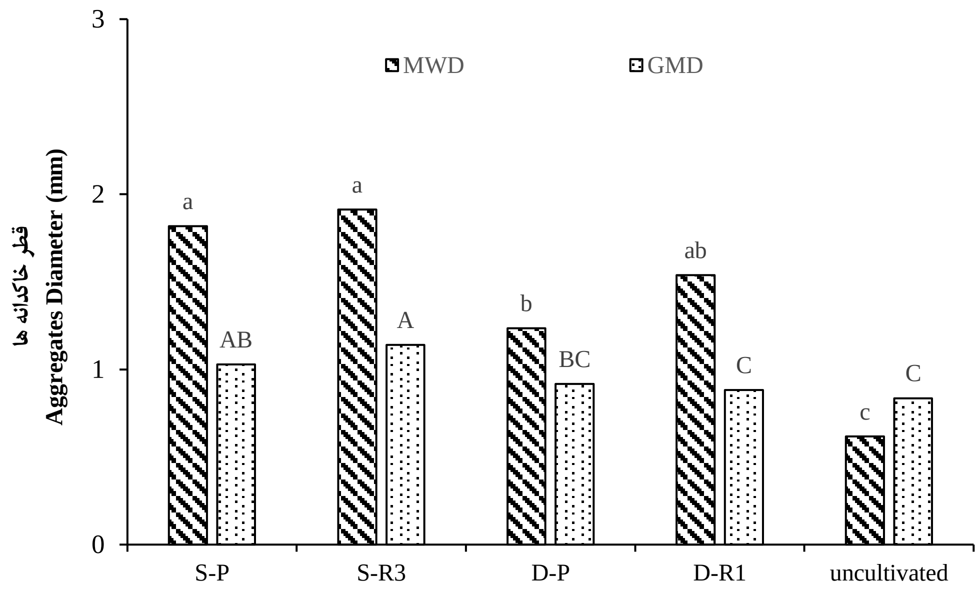
میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در کشت‌های مختلف در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقدار این شناسه در کشت‌های

یک‌ردیفه سومین باز–رویش (S-R3) و یک‌ردیفه تازه کشت (S-P) تفاوت معنی‌داری نداشت و به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود. میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در کشت‌های دوردیفه تازه‌کشت (D-P)، دوردیفه نخستین باز–رویش (D-R1) و زمین کشت‌نشده تفاوت معنی‌داری نداشت و کشت D-R1 و کشت‌نشده به‌طور معنی داری مقدار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها کمتری نسبت به دیگر کشت‌ها داشتند (شکل ۳). میانگین هندسی قطر ذرات یکی از شناسه‌های پایداری خاکدانه‌ها است، که اندازه‌های بزرگ‌تر آن بیان‌کننده پایداری بیشتر خاک بوده و ارتباط خوبی بین آن و مقدار کربن آلی (جدول ۳) و مدیریت شخم مشاهده شده است (Halder *et al.*, 2023; Mikha *et al.*, 2024). در کشت D-P با افزایش عملیات خاک‌ورزی میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها کاهش‌یافته است که این موضوع احتمالاً به‌دلیل کاهش ماده آلی خاک و درنتیجه کاهش عامل سیمان‌کنندگی خاک با افزایش خاک‌ورزی خاک است (Mikha *et al.*, 2024; Nath & Lal, 2017).

درصد خاکدانه‌های پایدار

تفاوت در درصد خاکدانه‌های پایدار برای کلاس‌های گوناگون خاکدانه‌ای (سری الک‌ها) در کشت‌های یک‌ردیفه تازه‌کشت (S-P) و دوردیفه تازه‌کشت (D-P) و دوردیفه نخستین باز–رویش (D-R1) در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۲). در کشت‌های S-P، D-P و D-R1 درصد خاکدانه‌های ۲- ۰/۲۵ میلی‌متر به گونه معنی‌داری بیشتر از دیگر اندازه خاکدانه‌ها بود (شکل ۴–الف)؛ در کشت‌های S-P و D-P خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر با ۰/۲۵–۰/۰۵۳ میلی‌متر تفاوت معنی‌داری داشت و به گونه معنی‌داری کمتر از دیگر اندازه خاکدانه‌ها بود. در این کشت‌ها به علت عملیات کشاورزی خاکدانه‌های بزرگ به خاکدانه‌های کوچکتر می‌شکنند و از طرف دیگر به علت ماده آلی کم و همچنین سوزاندن بقایا برای برداشت نیشکر، ایجاد خاکدانه بزرگ کمتر می‌شود (Halder *et al.*, 2023). حداقل درصد ماده آلی برای پایداری مطلوب خاکدانه‌ها میان ۲ تا ۴ درصد گزارش‌شده است (Le Bissonnais, 1996). در کشت D-P به علت مقدار رس کمتر، خاکدانه‌ها کوچک هستند.



شکل ۳–اثر مدیریت‌های مختلف کشت نیشکر در اراضی با سابقه کشت طولانی بر میانگین وزنی (MWD) و هندسی (GMD) قطر خاکدانه‌ها

S-P: یک‌ردیفه، تازه کشت؛ S–R3: یک‌ردیفه، سومین باز–رویش؛ D-P: دو ردیفه تازه کشت؛ D-R1: دو ردیفه اولین باز–رویش؛ uncultivated: زمین بایر؛ میانگین‌هایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. حروف کوچک، مقایسه میانگین‌های MWD و حروف بزرگ، مقایسه میانگین‌های GMD در بین انواع کشت را نشان می‌دهد.

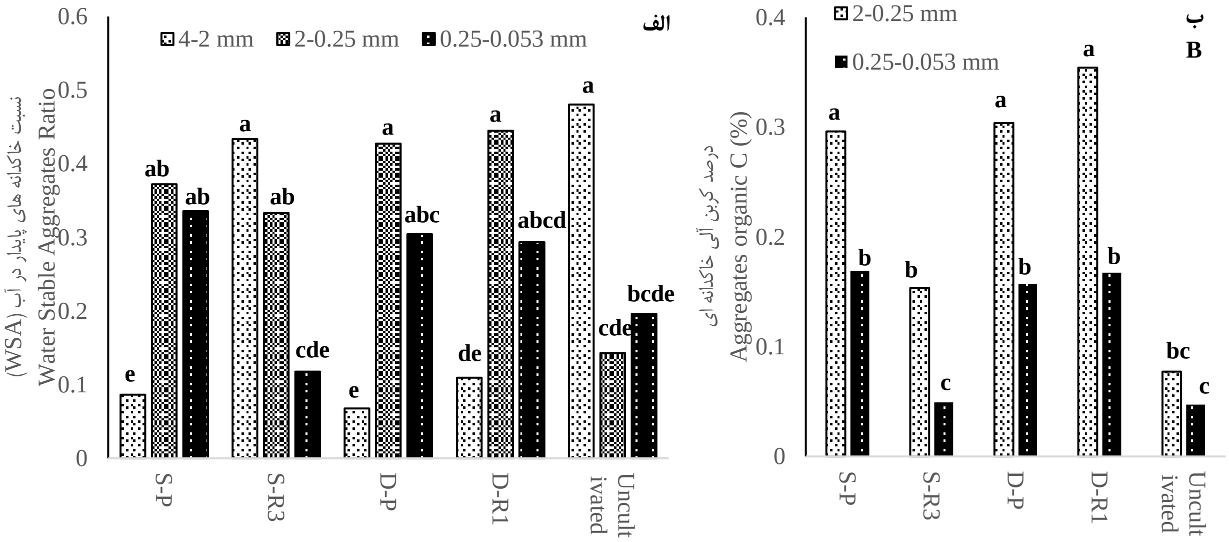
Figure 3- The effect of different managements of sugarcane cultivation in lands with a long history of cultivation on MWD and GMD

S-P: one row, newly planted; S-R3: one row, the third ratoon; D-P: two rows, newly planted; D-R1: two rows, the first ratoon; Means that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test. Small letters show the comparison of the averages of MWD and capital letters show the comparison of the averages of GMD among the cultivation.

زمانی‌که مقدار ذرات ریز خاک شامل رس به‌علاوه سیلت زیاد باشد، افزایش هدایت الکتریکی خاک مایه ضعیف شدن ساختمان خاک می‌شود. کریستیانسن و همکاران (Kristiansen *et al.*, 2006) نشان دادند که با افزایش مقدار رس، جزء خاکدانه‌های پایدار کم‌تر از ۱ میلی‌متر کاهش و خاکدانه‌های پایدار بیش‌تر از ۲ میلی‌متر افزایش یافت. تفاوت در درصد خاکدانه‌های پایدار برای کلاس‌های گوناگون خاکدانه‌ای در کشت یک‌ردیفه سومین باز-رویش (S-R3) و زمین کشت‌نشده در سطح آماری ۰/۰۵ معنی‌دار شد. در کشت S-R3 و زمین کشت‌نشده درصد خاکدانه‌های پایدار در اندازه خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ و ۲- ۰/۲۵ (میلی‌متر) تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند و اندازه خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ و ۲- ۰/۲۵ (میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندازه خاکدانه ۰/۲۵- ۰/۰۵۳ میلی‌متر بودند (شکل ۴-الف). کشت S-R3 دارای پوشش گیاهی خوب و هم‌چنین ریشه‌های زیاد می‌باشد که سبب افزایش ترشحات ریشه‌ای می‌شوند که عامل ایجاد خاکدانه‌های بزرگ هستند (Halder *et al*., 2023; Gul & Whalen, 2022). توزیع اندازه خاکدانه‌ها تحت تأثیر مواد آلی و مانده‌های گیاهی قرار می‌گیرد. بررسی همبستگی بین پایداری خاکدانه‌ها نیز نشان دهنده همبستگی معنی‌دار کربن آلی خاک و خاکدانه‌های بین ۰/۰۵۳ تا ۲ میلی‌متر است (جدول ۳). زیاد بودن درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگ در این کشت به سیستم ریشه‌ای نیشکر ارتباط دارد. انگرز (Angers, 1998) بیان کرد که سیستم ریشه‌ای ذرت به‌دلیل نحوه نفوذ در خاک با ریشه‌های زائد و افشان خود باعث تجمیع خاکدانه‌ها می‌شود. ریشه‌ها و ترشحات آن منبع غذایی مناسبی برای ریزجانداران است و مواد چسبنده ساخته شده توسط ریزجانداران و ریزجانداران مرده[1] سبب ایجاد خاکدانه‌های بزرگ می‌گردند (Angers, 1998; Gul & Whalen, 2022). خاک کشت‌نشده به علت پوشش گیاهی و مواد آلی کم، خاکدانه‌سازی کمتری دارد.

درصد خاکدانه‌های پایدار در بخش اندازه‌ای ۴-۲ میلی‌متر در بین کشت‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۱ بود (شکل ۴-الف). این مقدار در کشت‌های D-R1 و S-R3 به‌طور معنی داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود. کشتهای D-P، S-P و زمین کشت-نشده با کمترین مقدار پایداری خاکدانه در بخش ۴-۲ میلی‌متر در یک گروه آماری قرار گرفتند. (شکل ۴-الف). در کشت‌های D-R1 و S-R3 به علت کشت باز-رویش، زی‌توده ریشه بیشتر می‌باشد. سیستم‌های ریشه‌ای مختلف بسته به ویژگی‌های ریشه، ترشحات و عملکرد ریشه، اثر متفاوتی روی خاکدانه‌سازی دارند. ریشه‌های فیبری سطوح بالای خاکدانه‌های بزرگ را ایجاد می‌کنند. ریشه گیاهان لگوم به علت زی توده میکروبی بالا، خاکدانه‌سازی و خاکدانه‌های پایدار نسبت به گیاهان غیرلگوم بیشتر افزایش می‌دهند. پایداری خاکدانه در غیرلگوم‌ها وابسته به حجم ریشه است (Haynes & Beare, 1997; Wang *et al.*, 2023). درصد خاکدانه‌های پایدار ۲- ۰/۲۵ میلی‌متر در بین کشت‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۵ بود. این مقدار در کشت‌های S-P، S-R3 و D-P تفاوت معنی‌داری نداشت و به‌طور معنی-داری بیش از دیگر کشت‌ها بود. زمین کشت نشده و D-R1 با کمترین مقدار پایداری خاکدانه در بخش ۲- ۰/۲۵ میلی‌متر در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-الف). درصد خاکدانه‌های پایدار ۰/۲۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر در بین کشت‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۵ بود. مقدار این خاکدانه‌ها در کشت‌های S-P، D-P و D-R1 به‌طور معنی‌داری بیش از دیگر کشت‌ها بود. کشت S-R3 و زمین کشت‌نشده با کمترین مقدار پایداری خاکدانه در بخش ۰/۲۵- ۰/۰۵۳ میلی‌متر در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-ب). محققین نیز به‌طور مشابه‌ی دریافتند که توزیع اندازه ذرات در سیستم‌های مختلف کشت متفاوت است (Halder *et al*., 2023; Mikha *et al.*, 2024). به‌دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک‌ها، توزیع اندازه ذرات و پایداری خاکدانه متفاوت است (Angers, 1998). هدایت الکتریکی در اکثر نقاط در هر چهار مزرعه مورد مطالعه مقادیری کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر دارند، لذا در گروه خاک‌های غیرشور قرار می‌گیرند. هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته و نسبت جذب سدیم (SAR) نیز جزء فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده پراکنش/هم‌آوری رس‌ها می‌باشند. مقادیر EC کم و SAR زیاد سبب تورم و پراکنش رس‌ها و تخریب ساختمان خاک می‌گردند (Angers, 1998). اثر مثبت EC بر MWD به‌دلیل نقش نمک‌های محلول در هم‌آوری ذرات اولیه و ایجاد و پایداری خاکدانه‌ها (ذرات ثانویه) می‌باشد. کاتیون‌های دو ظرفیتی (معمولاً Ca^{+2}) با جانشینی Na^{+} سبب افزایش EC محلول خاک، کاهش ضخامت لایه‌ی دوگانه‌ی پخشیده هم‌آوری رس‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Amézketa, 1999). شوری و سدیمی بودن دو خصوصیت مهم شیمیایی تخریب‌کننده خصوصیات فیزیکی خاک‌های مناطق خشک است. افزایش سدیم تبادلی باعث تمایل ذرات رس به پراکنده شدن و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها و از دست رفتن ساختمان خاک می‌گردد.

1- Necromass



شکل ٤- اثر مدیریت‌های مختلف کشت نیشکر در اراضی با سابقه کشت طولانی بر الف) نسبت خاکدانه های پایدار در آب و ب) کربن آلی خاکدانه‌ها

S-P: یک‌ردیفه، تازه کشت؛ S-R3: یک ردیفه، سومین باز-رویش؛ P-D: دو ردیفه تازه کشت؛ D-R1: دو ردیفه اولین باز-رویش؛ uncultivated: زمین بایر؛ میانگین‌هایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 4- The effect of different managements of sugarcane cultivation in lands with a long history of cultivation on A) Water stable aggregates ratio and b) Aggregates organic carbon

S-P: one row, newly planted; S-R3: one row, the third ratoon; D-P: two rows, newly planted; D-R1: two rows, the first ratoon; Means that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level based on the LSD test

کربن خاکدانه‌ای

در کشت‌های S-P، D-P، D-R1 و زمین کشت‌نشده کربن آلی خاکدانه‌های ۲-۰/۲۵ میلی‌متر (درشت‌خاکدانه‌ها) به گونه معنی‌داری بیش از کربن آلی ریزخاکدانه‌ها (۰/۲۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد (شکل ۴-ب). در مقابل، در کشت S-R3، تفاوتی میان‌کربن آلی درشت‌خاکدانه‌ها و ریزخاکدانه‌ها مشاهده نشد. در بیشتر کشت‌ها، به‌جز S-R3، مقدار کربن آلی در درشت‌خاکدانه‌ها بیشتر بود. افزایش کربن آلی در این بخش از اندازه خاکدانه‌ها در کشتزارهای نیشکر می‌تواند ناشی از ورود پسماندهای گیاهی تازه و درشت (بزرگ‌تر ازنظر اندازه و حجم) باشد (Halder *et al.*, 2023; Mikha *et al.*, 2024). مواد آلی به گونه یکسان و یک اندازه در خاکدانه‌ها توزیع نشده‌اند. بر پایه بررسی‌های (Six *et al.*, 2002) مواد آلی تازه بیشتر در خاکدانه‌های درشت (۲-۰/۲۵ میلی‌متر) قرار گرفته و مواد آلی موجود در خاکدانه‌های ریز (۰/۲۵- ۰/۰۵۳ میلی‌متر) شامل مواد آلی تجزیه‌شده‌ای است که سبب پایداری این خاکدانه‌ها می‌شود. اما مطالعات جدیدتر نشان داده‌اند که اهمیت ساختار میکروبی در خاکدانه‌سازی بیشتر بوده و در خاک‌هایی که مواد آلی تازه بیشتری دریافت کرده و فعالیت قارچ‌های میسلیوم دار بیشتر است خاکدانه‌های پایدارتری نیز مشاهده می‌شود (Ali *et al.*, 2018; Gul & Whalen, 2022; Mikha *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023). مقدار کربن در درشت‌خاکدانه‌ها (۲-۰/۲۵میلی‌متر) در میان کشت‌های گوناگون تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۱ داشت. کشت‌های D-R1، S-P و D-P بیشترین و کشت S-R3 و زمین کشت‌نشده کمترین مقدار کربن درشت‌خاکدانه‌ای را داشتند (شکل ۴-ب). مقدار کربن ریزخاکدانه‌ها (۰/۲۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر) در میان کشت‌های گوناگون تفاوت معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۱ داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار کربن آلی در بخش ریزخاکدانه‌ها در کشت های D-R1، S-P و D-P مشاهده شد؛ در زمین کشت‌نشده، این شناسه به حداقل مقدار خود رسیده است (شکل ۴-ب). در کشت D-R1 در هر دو بخش درشت و ریزخاکدانه‌ها، مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به دیگر کشت‌ها داشت. عملیات شخم و زیرشکنی کشت‌های باز-رویش سبب شکستن خاکدانه‌ها و از دست رفتن کربن طی تجزیه میکروبی می‌شود (Zheng *et al.*, 2023).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر کشت و کار مکانیزه و طولانی مدت نیشکر بر برخی از خصوصیات فیزیکی خاک در تعدادی از اراضی تحت کشت نیشکر با سابقه بهره‌برداری ۵۰ سال در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک بررسی شد. کشت‌های دوردیفه باعث افزایش مقدار کربن آلی نسبت به

کشت یک‌ردیفه شد، به‌طوری‌که کشت دوردیفه نخستین باز–رویش بیشترین مقدار کربن آلی را داشت. کربن فعال در کشت دوردیفه نخستین باز–رویش (D-R1) و یک‌ردیفه سومین باز–رویش (S-R3) به‌صورت معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود. به نظر می‌رسد سوزاندن مانده‌هایی گیاهی نیشکر در زمان برداشت نیشکر و آماده‌سازی زمین برای کشت تازه نیشکر در کشت‌های S-P و D-P سبب کاهش ماده آلی خاک در این کشت‌ها بوده و این امر باعث کاهش کربن آلی کل و به تبع آن کاهش کربن فعال در خاک شده است. مقدار تنفس پایه در کشت‌یک‌ردیفه سومین باز–رویش (S-R3) و تنفس برانگیخته در کشت D-P به گونه معنی‌داری بیشتر از دیگر کشت‌ها بود. کشت S-R3 دارای لاشبرگ و زی‌توده زیادی نسبت به دیگر کشت‌ها بود و از طرف دیگر با بالا بودن سن گیاه، نشر مواد ریشه‌ای و میکروبی افزایش می‌یابد که این مواد سبب افزایش خاکدانه سازی می‌شوند. کشت S-P به علت خاک‌ورزی عملیات کشت نیشکر و زمین کشت نشده به‌دلیل پایین بودن درصد ماده آلی و همچنین بافت لوم رس شنی، خاکدانه‌سازی کمتری دارند. بیشترین درصد خاکدانه‌های درشت و خاکدانه‌های ریز در یک‌ردیفه تازه کشت و دوردیفه تازه کشت مشاهده شد. بیشترین درصد خاکدانه‌های متوسط در کشت‌های یک ردیفه تازه کشت، دوردیفه تازه کشت و دو ردیفه اولین باز–رویش مشاهد شد. بیشترین کربن آلی خاکدانه‌ایی در خاکدانه‌های درشت در کشت‌های دوردیفه دومین باز–رویش، دوردیفه تازه‌کشت و یک‌ردیفه تازه‌کشت شده مشاهده شد. در مجموع به علت میزان کم ماده آلی خاک که عمدتاً ناشی از سوزاندن هر ساله‌ی ساقه سبز نیشکر می‌باشد، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب در برخی از کشتزارهای مورد بررسی مناسب نبود. بنابراین پیشنهاد می‌شود با برگرداندن بقایای گیاهی بعد از برداشت، به میزان قابل توجهی مشکلات ناپایداری خاکدانه‌ها و پیامدهای زیانبار مرتبط با این عوامل را بهبود بخشید.

References

1. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press Harcourt Brace & Company Publishers London, 214–215 p.
2. Ali, R.S., Kandeler, E., Marhan, S., Demyan, M.S., Ingwersen, J., Mirzaeitalarposhti, R., Rasche, F., Cadisch, G., & Poll, C. (2018). Controls on microbially regulated soil organic carbon decomposition at the regional scale, *Soil Biology and Biochemistry*, *118*, 59-68. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.007
3. Alvaro-Fuentes, J., Lopez, M.V., Arrue, J.L., & Cantero-Martınez, C. (2008). Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal*, *72*(1), 194–200. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0310
4. Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, *14*, 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
5. Anderson, J.P.E. (1982). *Soil respiration*. pp. 831-871. In: Page, A.L., Keeney, D. R., Baker, D.E., Miller, R.H., Ellis, R. Jr., Rhoades, J.D. (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2- Chemical and Microbiological Properties. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c41
6. Angers, A.D. (1998). Water stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil and Tillage Research*, *47*, 91–96. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00077-4
7. Azadi, A., Seyed Jalali, S.A., Dehghan, R., & Navidi, M. (2021). Investigation of changes in physical and chemical properties of soil during different stages of sugarcane growth and estimation of organic carbon sequestration capacity, *Iranian Journal of Soil Research*, *35*(3), 269–286. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.354244.600
8. Bakker, M. (1999). *Sugarcane Cultivation and Management*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-4725-9
9. Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., & Ansari, M. (2000). Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil and Tillage Research*, *57*, 167-172. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00158-6
10. Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459–1466. https://doi.org/10.1071/AR9951459
11. Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., & Soriano-Soto, M.D. (2001). Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators, *Catena*, *44*, 47-67, https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4
12. Bronick, C.J., & Lal, R. (2005). Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio. USA, *Soil and Tillage Research*, *81*, 239–252. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.011
13. Cheng, M., Xiang, Y., Xue, Zh., An, Sh., & Darboux, F. (2015). Soil aggregation and intra-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena*, *124*, 77–84. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.006

14. Fattet, M., Fu, Y., Ghestem, M., Ma, W., Foulonneau, M., Nespoulous, J., Bissonnais, Y.L., & Stokes, A. (2011). Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. *Catena*, *87*, 60-69. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.006
15. Ghorbani, Z., Jafari, S., & Khalil Moghaddam, B. (2013). The effect of physicochemical properties of soils under different land use on aggregate stability in some part of Khuzestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *3*(2), 29-51. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23221267.1392.3.2.2.1
16. Gul, S., & Whalen, J.K. (2022). Perspectives and strategies to increase the microbial-derived soil organic matter that persists in agroecosystems. *Advances in Agronomy, 175*, 347-401. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.04.004
17. Halder, M., Ahmad, S.J., Rahman, T., Joardar, J.C., Siddique, A.B., Islam, M.S., Islam, M.U., Liu, S., Rabbi, S., & Peng, X. (2023). Effects of straw incorporation and straw-burning on aggregate stability and soil organic carbon in a clay soil of Bangladesh, *Geoderma Regional*, *32*, e00620. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00620
18. Haynes, R.J., & Beare, M.H. (1997) Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, *29*, 1647–1653. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00078-3
19. Jafari, S., Baghernejad, M., & Chorom, M. (2005). Evaluation some changes of physicochemical properties of cultivated land (under sugarcane cultivation and crop rotation) and Haft Tapeh pristine region of Khuzestan. Chamran, *The Scientific Journal of Agriculture*, *22*, 165-181. (In Persian with English abstract)
20. Jafari, S., Golchin, A., & Toolabifard, A. (2016). Effect of land use changes on physical fractionation properties of organic matter, clay dispersion and aggregate stability in some Khuzestan soils province. *Iranian Journal of Soil and Water Reseach*, *47*, 593-603. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.59329
21. Kemper, W.D., & Rosenau, K. (1986). *Size distribution of aggregates.* p. 425-442. In: Klute, A. (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Methods, American Society of Agronomy, Madison, WI.
22. Kristiansen, S.M., Schjønning, P., Thomsen, I.K., Olesen, J.E., Kristensen, K., & Christensen, B.T. (2006). Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture. *Geoderma*, *137*, 147-154. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.005
23. Le Bissonnais, L.Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, *47*, 425-437. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x
24. Lee, J.H., Lucas, M., Guber, A.K., Li, X., & Kravchenko, A.N. (2023). Interactions among soil texture, pore structure, and labile carbon influence soil carbon gains, *Geoderma*, *439*, 116675, https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116675 .
25. Luca, E.F., Chaplot, V., Mutema, M., Feller, C., Ferreira, M.L., Cerri, C.C., & Couto, H.T.Z. (2018). Effect of conversion from sugarcane preharvest burning to residues green-trashing on SOC stocks and soil fertility status: Results from different soil conditions in Brazil, *Geoderma*, *310*, 238-248, https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.020.
26. Mikha, M.M., Green, T.R., Untiedt, T.J., & Hergret, G.W. (2024). Land management affects soil structural stability: Multi-index principal component analyses of treatment interactions, *Soil and Tillage Research*, *235*, 105890. https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105890
27. Moradi, F., Ghorbani, Z., Khalili Moghadam, B., & Misaghi, P. (2015). Important characteristics influencing the cone penetration resistance in virgin, cultivated, and sugarcane land uses in some Khozestan soils. *Iranian Journal of Soil Research*, *29*(2), 163-174 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2015.102210
28. Nath, A.J., & Lal, R. (2017). Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the North Appalachian region, USA, *Pedosphere*, *27*, 172-176, https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60301-1
29. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). *Total carbon, organic carbon and organic matter*. p. 101–129. In: Page A.L. (ed.), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA Madison, WI.
30. Salinas-Garcıa, J.R., Velazquez-Garcıa, J.D.J., Gallardo-Valdez, M., Dıaz-Mederos, P., Caballero-Hernandez, F., Tapia-Vargas, L.M., & Rosales-Robles, E. (2002). Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-Western Mexico. *Soil and Tillage Research*, *66*, 143–152. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00022-3
31. Sawada, K., Inagaki, Y., Toyota, K., Kosaki, T., & Funakawa, S. (2017). Substrate-induced respiration responses to nitrogen and/or phosphorus additions in soils from different climatic and land use conditions, *European Journal of Soil Biology*, *83*, 27-33, https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.10.002
32. Seybold, C.A., & Herrick, J.E. (2001). Aggregate stability kit for soil quality assessments, *Catena*, *44*, 37-45, https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00175-2
33. Six, J., Conant, R., Paul, E., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, *241*, 155-176. https://doi.org/10.1023/A:1016125726789
34. Six, J., & Paustian, K. (2014). Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, *68*, A4-A9. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014
35. Wang, X., Shan, K., Huang, P., Ma, M., & Wu, S. (2023). Response of soil aggregate stability to plant diversity loss

along an inundation stress gradient in a reservoir riparian zone, *Catena*, *233*, 107472, https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107472
36. Wang, J.G., Yang, W., Yu, B., Li, Z.X., Cai, C.F., & Ma, R.M. (2016). Estimating the influence of related soil properties on macro- and micro-aggregate stability in Ultisols of south-central China. *Catena*, *137*, 545-553. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.001
37. Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., & Samson-Liebig, S.E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture, 18*, 3–17. https://doi.org/10.1079/AJAA200228
38. Zhao, J., Chen, S., Hu, R., & Li, Y. (2017). Aggregate stability and size distribution of red soils under different land uses integrally regulated by soil organic matter, and iron and aluminum oxides. *Soil and Tillage Research*, *167*, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.007
39. Zheng, F., Liu, X., Zhang, M., Li, S., Song, X., Wang, B., Wu, X., & Jan van Groenigen, K. (2023). Strong links between aggregate stability, soil carbon stocks and microbial community composition across management 107509, https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107509